

BUNDE REPUBLIK DEUTSCHLAND

#2

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 13 FEB 2004	
WIPO	PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

103 01 821.2

Anmeldetag:

20. Januar 2003

Anmelder/Inhaber:

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart/DE

Bezeichnung:

Verfahren und Steuerschaltung zur Ansteuerung
eines Elektromotors mithilfe eines Pulsweiten-
modulationssignals

IPC:

H 02 P 7/06

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. Januar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Beschreibung

Verfahren und Steuerschaltung zur Ansteuerung eines Elektromotors mithilfe eines Pulsweitenmodulationssignals

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors mit einem Pulsweitenmodulationssignal. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Steuerschaltung zur Ansteuerung eines Elektromotors, wobei der Elektromotor mithilfe eines Pulsweitenmodulationssignals angesteuert wird.

10

Zur stufenlosen Steuerung von Elektromotoren werden diese häufig mit einer Pulsweiten-modulierten Spannung betrieben. Die Pulsweiten-modulierte Spannung wird mithilfe einer Schalteinrichtung, an der ein Pulsweitenmodulationssignal angelegt ist, an dem Elektromotor angelegt. Das Pulsweitenmodulationssignal weist ein Tastverhältnis auf, mit dem die Spannung am Elektromotor und damit die Drehzahl des Motors gesteuert werden kann.

15

20

Die Pulsweiten-modulierte Spannung zur Ansteuerung des Elektromotors hat den Nachteil, dass dadurch Störungen auf den Versorgungsspannungsleitungen, an die der Elektromotor angeschlossen ist, hervorgerufen werden. Daher wird an die Versorgungsspannungsleitungen üblicherweise ein Tiefpassfilter angeschlossen, um die Spannung zu glätten.

30

35

Der Tiefpassfilter weist einen Kondensator und/oder eine Drosselspule auf, deren Verlustleistungen von dem Tastverhältnis der Ansteuerfrequenz abhängt. Üblicherweise nimmt die Verlustleistung in den Bauelementen des Tiefpassfilters bei einer Frequenzerhöhung zu. Andererseits bewirkt eine Frequenzerhöhung der Ansteuerfrequenz des Pulsweitenmodulationssignals auch eine verbesserte Filterung der in den Versorgungsspannungsleitungen bewirkten leitungsgebundenen Störungen. Solche leitungsgebundene Störungen werden im Hochfre-

quenzbereich gemessen und müssen bestimmte maximale Grenzen unterschreiten.

5 Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und einer Steuerschaltung zur Ansteuerung eines Elektromotors zur Verfügung zu stellen, mit dem die leitungsgebundenen Störungen gering und unterhalb einer bestimmten maximalen Grenze gehalten werden kann und bei dem gleichzeitig die Verlustleistung an den Bauelementen, die mit den Versorgungsspannungsleitungen in Verbindung stehen, einen maximalen Wert nicht überschreitet.

15 Diese Aufgabe wird durch das Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors nach Anspruch 1, sowie durch die Steuerschaltung nach Anspruch 4 gelöst.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

20 Gemäß eines ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors mit einem Pulsweitenmodulationssignal vorgesehen. Das Pulsweitenmodulationssignal weist eine Ansteuerfrequenz und ein Tastverhältnis auf. Der Elektromotor wird abhängig von dem Tastverhältnis gesteuert und über eine Versorgungsspannungsleitung versorgt. Zur Tiefpassfilterung der durch das Pulsweitenmodulationssignal bewirkten Spannungsschwankungen auf der Versorgungsspannungsleitung ist mindestens ein elektrisches Bauelement vorgesehen. Erfindungsgemäß wird die Ansteuerfrequenz des Pulsweitenmodulationssignal abhängig von dem Tastverhältnis verändert.

35 Auf diese Weise kann vorgesehen werden, dass die Ansteuerung des Elektromotor so erfolgt, dass für jedes mögliche Tastverhältnis die Ansteuerfrequenz ausgewählt wird, um eine gewünschte Verlustleistung und einen gewünschten Anteil der leitungsgebundenen Störungen zu erhalten.

Vorzugsweise wird die Ansteuerfrequenz so abhängig von dem Tastverhältnis angepasst, dass die maximal zulässige Verlustleistung in dem elektrischen Bauelement nicht überschritten wird. Gleichzeitig ist vorzugsweise vorzusehen, dass die Ansteuerfrequenz möglichst hoch gewählt wird, um eine bessere Filterung der leitungsgebundenen hochfrequenten Störungen auf der Versorgungsspannungsleitung zu erreichen.

10 Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahren besteht darin, dass die Ansteuerfrequenz jeweils so gewählt wird, dass die Verlustspannung an jedem der elektrischen Bauelemente zur Tiefpassfilterung nicht überschritten wird. Da die Verlustleistung mit zunehmender Frequenz ebenfalls zunimmt, ist es
15 notwendig, zur Beschränkung der Verlustleistung eine Höchstfrequenz nicht zu überschreiten. Gleichzeitig ist es wünschenswert, den Anteil der leitungsgebundenen, hochfrequenten Störungen auf den Versorgungsspannungsleitungen zu minimieren, indem die Ansteuerfrequenz möglichst hoch gewählt wird,
20 um eine bessere Filterwirkung des Tiefpassfilters zu erreichen. Da sich die Verlustleistung an dem elektrischen Bauelementen abhängig vom Tastverhältnis ändert, ist vorgesehen, dass die Ansteuerfrequenz des Pulsweitenmodulationssignals ebenfalls in Abhängigkeit zu dem Tastverhältnis gewählt wird. Dabei wird die jeweilige Ansteuerfrequenz an die jeweils erlaubte Verlustleistung des elektrischen Bauelements, vorzugsweise an dessen maximal zulässige Verlustleistung angepasst. Auf diese Weise können hohe Ansteuerfrequenzen bei bestimmten Tastverhältnissen vorgesehen sein, die bei anderen Tastverhältnissen zu einer Überschreitung der zulässigen Verlustleistung in dem elektrischen Bauelement führen würden.
30

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine Steuerschaltung zur Ansteuerung eines Elektromotors mit
35 hilfe eines Pulsweitenmodulationssignals vorgesehen. Das Pulsweitenmodulationssignal weist eine Ansteuerfrequenz und ein Tastverhältnis auf, wobei der Elektromotor mit einer über

eine Schalteinrichtung steuerbare Versorgungsspannung betreibbar ist. Ein Steuermodul generiert das Pulsweitenmodulationssignal, um die Schalteinrichtung gemäß dem Tastverhältnis zu schalten. Es ist eine Tiefpassfilterschaltung vorgesehen, die die Versorgungsspannung filtert, um durch das Pulsweitenmodulationssignal bewirkte Spannungsschwankungen auf einer Versorgungsspannungsleitung zu reduzieren. Das Steuermodul generiert die Ansteuerfrequenz des Pulsweitenmodulationssignals abhängig von dem Tastverhältnis.

Auf diese Weise wird vorteilhaft erreicht, dass bei einem jeweiligen Tastverhältnis die Ansteuerfrequenz so hoch gewählt werden kann, so dass leitungsgebundene Störungen auf der Versorgungsspannungsleitung für den Elektromotor verringert werden können.

Mit der Tiefpassfilterschaltung wird erreicht, dass die Versorgungsspannung geglättet wird, wobei im Wesentlichen die Spannungsschwankungen in der Versorgungsspannungsleitung umso mehr geglättet werden, je höher die Frequenz der Spannungsschwankungen ist.

Es kann vorgesehen sein, dass das Steuermodul die Schalteinrichtung mit einer Ansteuerfrequenz des Pulsweitenmodulationssignals so ansteuert, dass eine Verlustleistung eines Bauelements in der Filterschaltung und/oder der Schalteinrichtung einen maximal zulässigen Wert nicht überschreitet. Auf diese Weise wird die obere Grenze der Ansteuerfrequenz jeweils durch die maximal zuträgliche Verlustleistung für jedes der Bauelemente in der Filterschaltung bzw. der Schalteinrichtung und abhängig vom Tastverhältnis festgelegt.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird im Folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Schaubild einer erfindungsgemäßen Steuerschaltung; und

Figur 2 ein Schaubild, das die Abhängigkeit der Schwankungen auf der Versorgungsspannungsleitung in Abhängigkeit von der Periodendauer bei gleichem Tastverhältnis angibt.

In Figur 1 ist eine Ansteuerung eines Elektromotors 1 dargestellt. Der Elektromotor 1 wird mithilfe eines Pulsweitenmodulationssignals S , das an eine Schalteinrichtung 2 angelegt wird, gesteuert. Dazu sind der Elektromotor 1 und die Schalteinrichtung 2 in Serie zwischen einem hohen Versorgungsspannungspotential V_H und einem Massepotential GND geschaltet. Das Pulsweitenmodulationssignal ermöglicht die stufenlose Ansteuerung des Elektromotors 1.

Um Spannungsspitzen beim Ausschalten der Schalteinrichtung 2 aufgrund der Induktivität des Elektromotors 1 an der Schalteinrichtung 2 zu vermeiden, ist parallel zu dem Elektromotor 1 eine Freilaufdiode 3 vorgesehen, die eine Freilaufspannung, die größer ist als die obere Versorgungsspannung V_H ableitet.

Das Pulsweitenmodulationssignal S weist eine Ansteuerfrequenz f und ein Tastverhältnis T_v auf. Die Ansteuerfrequenz f gibt eine Periodendauer T an, nach der sich das Pulsweitenmodulationssignal S zyklisch wiederholt. Das Tastverhältnis T_v gibt das Verhältnis der Einschaltdauer während der Periodendauer des Pulsweitenmodulationssignals S zur gesamten Periodendauer an. D.h. je größer das Tastverhältnis T_v , desto größer ist der Zeitanteil, während dem die Schalteinrichtung 2 geschlossen ist, und desto länger liegt die Versorgungsspannung an dem Elektromotor 1 während einer Periode T an. Die Einschaltdauer während einer Periode lässt sich durch Wahl des Tastverhältnisses T_v beliebig variieren, so dass dadurch der Elektromotor 1 stufenlos ansteuerbar ist.

Das Pulsweitenmodulationssignal S wird der Schalteinrichtung 2 von einem Steuermodul 4 zur Verfügung gestellt, das das Pulsweitenmodulationssignal S abhängig von einem vorgegebenen Stellwert generiert, der von einer Steuersignalleitung ST empfangen wird. Der Stellwert kann von einer (nicht gezeigten) Steuereinrichtung oder ein Daten-Netzwerk (z.B. ein CAN-Netzwerk) empfangen werden.

Das Steuermodul 4 weist üblicherweise einen Mikrocontroller auf, der aus dem Stellwert die Ansteuerfrequenz f und das Tastverhältnis Tv ermittelt und das Pulsweitenmodulationssignal S generiert.

Durch das Ein- und Ausschalten der Schalteinrichtung 2, die in der gezeigten Ausführungsform als Feldeffektleistungstransistor 2 ausgebildet ist, entstehen steile Spannungsflanken an dem Elektromotor 1. Diese führen zu Spannungsschwankungen mit der Ansteuerfrequenz und deren Oberfrequenzen auf den Versorgungsspannungsleitungen 5. Um das Versorgungsspannungsnetz nicht mit diesen Spannungsschwankungen zu belasten, ist eine Tiefpassfilterschaltung S vorgesehen, die einen Elektrolytkondensator 6 und eine Drosselspule 7 aufweist. Die Tiefpassfilterschaltung S glättet die auf den Versorgungsspannungsleitungen 5 befindlichen Spannungsschwankungen. Die Tiefpassfilterschaltung S filtert die Spannungsschwankungen umso besser, je höher die Frequenz der Spannungsschwankungen auf den Versorgungsspannungsleitungen 5 ist. Die Spannungsschwankungen weisen im Wesentlichen Frequenzen auf, die durch die Grundfrequenz der Ansteuerfrequenz des Pulsweitenmodulationssignals S , sowie deren Vielfaches, d.h. deren Oberschwingungen, gegeben ist.

Wird die Ansteuerfrequenz nun erhöht, so arbeitet die Tiefpassfilterschaltung effektiver und filtert einen größeren hochfrequenten Anteil der Spannungsschwankungen von den Versorgungsspannungsleitungen 5 aus. Gleichzeitig steigt jedoch die Verlustleistung in dem Elektrolytkondensator 6 und der

Drosselspule 7 mit der zunehmenden Frequenz an. Da die Verlustleistung nach oben hin durch den kleinsten Wert der maximalen Verlustleistungen für jedes der Bauelemente an den Versorgungsspannungsleitungen 5 beschränkt ist, kann die Ansteuerfrequenz f nicht beliebig erhöht werden.

Zudem ist die Verlustleistung jedes der Bauelemente des Elektrolytkondensators 6 und der Drosselspule 7 von dem Tastverhältnis T_v des Pulsweitenmodulationssignals S abhängig.

Im folgenden wird die Verlustleistung des Elektrolytkondensators 6 ermittelt.

Zunächst wird angenommen, dass die Ströme $I_{\text{Zuleitung}}$, I_{Drossel} , I_m konstant sind. Dann gilt:

$$I_{\text{Zuleitung}} = I_m \times T_v;$$

wobei T_v das Tastverhältnis angibt und einen Wert im Bereich zwischen 0 und 1 annehmen kann.

Für die Ausschaltzeit der Schalteinrichtung gilt dann:

$$I_{\text{elko}} = I_{\text{Drossel}},$$

wobei I_{elko} der Strom durch den Elektrolytkondensator 6 darstellt.

Die Spannungshübe an dem Elektrolytkondensator 6 ergeben sich entsprechend folgender Gleichungen:

$$dU_{\text{elko}} = \frac{1}{C} * \int_0^T I_{\text{elko}} dt = \frac{1}{C} I_{\text{elko}} (1 - T_v) * T \quad (1)$$

wobei $T (= \frac{1}{f})$ der Periodendauer des Pulsweitenmodulationssignals S entspricht.

Für die Einschaltzeit der Schalteinrichtung 2 gilt:

$$I_{elko} = I_{Drossel} - I_m, \quad (2)$$

und

$$dU_{elko-} = \frac{1}{C} * \int_0^T I_{elko} dt = \frac{1}{C} I_{elko} (T_v - 1) * T \quad (3)$$

dU_{elko+} und dU_{elko-} sind proportional zur Periodendauer des Pulsweitenmodulationssignals S , d.h. der Spannungshub am Elektrolytkondensator 6 lässt sich durch eine Frequenzerhöhung der Ansteuerfrequenz f vermindern. Bei einer Betrachtung von dU_{elko+} , wobei

$$I_{elko} = I_{drossel} = T_v * I_{mod} \quad (4)$$

ist, ergibt sich:

$$dU_{elko+} = \frac{1}{C} * \int_0^T I_{elko} dt = \frac{1}{C} I_{elko} (1 - T_v) * T = \frac{1}{C} * T_v * (1 - T_v) * T * I_m \quad (5)$$

Bei einem Motorstrom

$$I_m = k_1 * U_m^2 = k_1 * (T_v * U_{bat})^2 = k_2 * T_v^2, \quad (6)$$

wobei k_1 und k_2 Konstanten sind, ergibt sich

$$dU_{elko+} = \frac{1}{C} * T_v^3 * (1 - T_v) * k_2 * T, \quad (7)$$

woraus sich für die elektrische Verlustleistung P_v

$$P_v \sim U_v^2 * \frac{1}{T} \sim T_v^2 * f \quad (8)$$

resultiert.

Man erkennt, dass die Verlustleistung P_v im Wesentlichen proportional zum Quadrat des Tastverhältnisses T_v und proportional zur Ansteuerfrequenz f ist. Der Anteil der leitungsgebundenen Störungen ist jedoch nicht nur abhängig von der Ansteuerfrequenz, sondern auch wesentlich abhängig von dem Tastverhältnis, wobei sich der Anteil der Oberfrequenzen je nach gewähltem Tastverhältnis erheblich verändern kann. So ist der Anteil der Oberfrequenzen bei einem Tastverhältnis von 0,5 relativ gering und steigt mit sinkendem bzw. steigendem Tastverhältnis erheblich an. Da die Tiefpassfilterschaltung die Oberfrequenzen nicht vollständig herausfiltern kann, bleibt ein Anteil übrig, der sich als hochfrequente leitungsgebundene Störung in dem Versorgungsspannungsnetz befindet.

Mit den Gleichungen (7) und (8) lassen sich je nach Tastverhältnis T_v Ansteuerfrequenzen realisieren, die zwar im Vergleich zu einer konstanten Ansteuerfrequenz f erhöhte elektrische Verlustleistungen haben, sich jedoch im Bezug auf leitungsgebundene Störungen vorteilhaft verhalten.

Das Steuermodul 4 ist nun so gestaltet, dass die Ansteuerfrequenz f des Pulsweitenmodulationssignals S je nach gewähltem Tastverhältnis T_v , das im Wesentlichen durch den Stellwert ST vorgegeben ist, verändert wird. So wird erfindungsgemäß bei einem sehr geringen Tastverhältnis T_v , das quadratisch in die Verlustleistung P_v eingeht, die Ansteuerfrequenz f erheblich erhöht, um die Filterwirkung des Tiefpassfilters S zu verbessern. Die Erhöhung der Ansteuerfrequenz f richtet sich nach der maximal zulässigen Verlustleistung der in dem Tiefpassfilter befindlichen Bauelemente, die im Wesentlichen durch das Bauelement mit dem geringsten maximalen Verlustleistungswert gegeben ist. D.h. bei der Wahl der Ansteuerfrequenz f wird sich der maximal zulässigen Verlustleistung der Gesamtschaltung angenähert.

Bei einem größeren Tastverhältnis T_v ist auch die Verlustleistung P_v erheblich höher, so dass die Ansteuerfrequenz f reduziert werden muss.

- 5 Im wesentlichen ist die jeweilige Ansteuerfrequenz f entsprechend der Verlustleistungen P_v der in dem Motorschaltkreis verwendeten Bauelemente so zu wählen, dass bei keinem Bauelement bei dem gegebenen Tastverhältnis T_v der maximale Bauteil-abhängige Wert der Verlustleistung überschritten wird.
- 10 Dabei sind insbesondere die Bauelemente der Tiefpassfilterschaltung sowie der Feldeffekt-Leistungstransistor 2 und die Freilaufdiode 3 zu berücksichtigen.

- Vorzugsweise sind die Ansteuerfrequenzen so zu wählen, dass
- 15 bei einer Ansteuerfrequenz von 20 kHz die maximal mögliche Verlustleistung der Gesamtschaltung bei allen Tastverhältnissen nicht überschritten wird.

- In Figur 2 sind die Spannungsverläufe auf der Versorgungsspannungsleitung 5 bei verschiedenen Ansteuerfrequenzen f_1 , f_2 , f_3 dargestellt. Man erkennt eine Abnahme der Amplitude der Spannungsschwankungen an den Versorgungsspannungsleitungen 5 mit zunehmender Frequenz. Somit können die leitungsgebundenen Störungen reduziert werden, indem die Ansteuerfrequenz f des Pulsweitenmodulationssignals S erhöht wird.
- 20

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors (1) mit einem Pulsweitenmodulationssignal (S),
5 wobei das Pulsweitenmodulationssignal (S) eine Ansteuerfrequenz (f) und ein Tastverhältnis (Tv) aufweist, wobei der Elektromotor (1) abhängig von dem Tastverhältnis (Tv) gesteuert und über eine Versorgungsspannungsleitung (5) versorgt wird,
10 wobei mindestens ein elektrisches Bauelement (6, 7) zur Tiefpaßfilterung der durch das Pulsweitenmodulationssignal (S) bewirkten Spannungsschwankungen an der Versorgungsspannungsleitung (5) vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass
15 die Ansteuerfrequenz (f) des Pulsweitenmodulationssignals (S) abhängig von dem Tastverhältnis (Tv) verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
20 die Ansteuerfrequenz (f) so abhängig von dem Tastverhältnis (Tv) angepasst wird, dass die maximal zulässige Verlustleistung in dem elektrischen Bauelement (6) nicht überschritten wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerfrequenz (f) so abhängig von dem Tastverhältnis (Tv) angepasst wird, dass die Ansteuerfrequenz (f) möglichst hoch gewählt wird, um eine bessere Filterung der Spannungsschwankungen auf der Versorgungsspannungsleitung (5) zu erreichen.
30
4. Steuerschaltung zur Ansteuerung eines Elektromotors (1) mit Hilfe eines Pulsweitenmodulationssignals (S),
wobei das Pulsweitenmodulationssignal (S) eine Ansteuerfrequenz (f) und ein Tastverhältnis (Tv) aufweist,
35 wobei der Elektromotor (1) mit einer über eine Schalteinrichtung (2) steuerbaren Versorgungsspannung betreibbar ist,

wobei die Versorgungsspannung durch eine Tiefpassfilter-
schaltung gefiltert ist, um durch das Pulsweitenmodulati-
onssignal (S) bewirkte Spannungsschwankungen auf einer
Versorgungsspannungsleitung (5) zu reduzieren,

5 wobei ein Steuermodul (4) das Pulsweitenmodulationssignal
(S) generiert, um die Schalteinrichtung (2) gemäß dem
Tastverhältnis (Tv) zu schalten,

dadurch gekennzeichnet, dass das Steuermodul (4) die An-
steuerfrequenz (f) des Pulsweitenmodulationssignals (S)
10 abhängig von dem Tastverhältnis (Tv) generiert.

5. Ansteuerschaltung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,
dass das Steuermodul (4) die Schalteinrichtung (2) mit ei-
ner Ansteuerfrequenz des Pulsweitenmodulationssignal (S)
15 so ansteuert, dass eine Verlustleistung (P_v) in der Tief-
passfilterschaltung und/oder der Schalteinrichtung (2) ei-
nen maximal zulässigen Wert nicht überschreitet.

6. Ansteuerschaltung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekenn-
20 zeichnet, dass die Tiefpassfilterschaltung einen Kondensa-
tor (6) und/oder eine Spule (7) umfasst.

Zusammenfassung

Verfahren und Steuerschaltung zur Ansteuerung eines Elektromotors mithilfe eines Pulsweitenmodulationssignals .

5

Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors mit einem Pulsweitenmodulationssignal, wobei das Pulsweitenmodulationssignal eine Ansteuerfrequenz und ein Tastverhältnis aufweist, wobei der Elektromotor abhängig von dem Tastverhältnis über eine Versorgungsspannungsleitung angesteuert ist, wobei mindestens ein elektrisches Bauelement zur Tiefpaßfilterung der durch das Pulsweitenmodulationssignal bewirkten Spannungsschwankungen auf der Versorgungsspannungsleitung vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerfrequenz des Pulsweitenmodulationssignals abhängig von dem Tastverhältnis verändert wird.

10

15

20 Figur 1

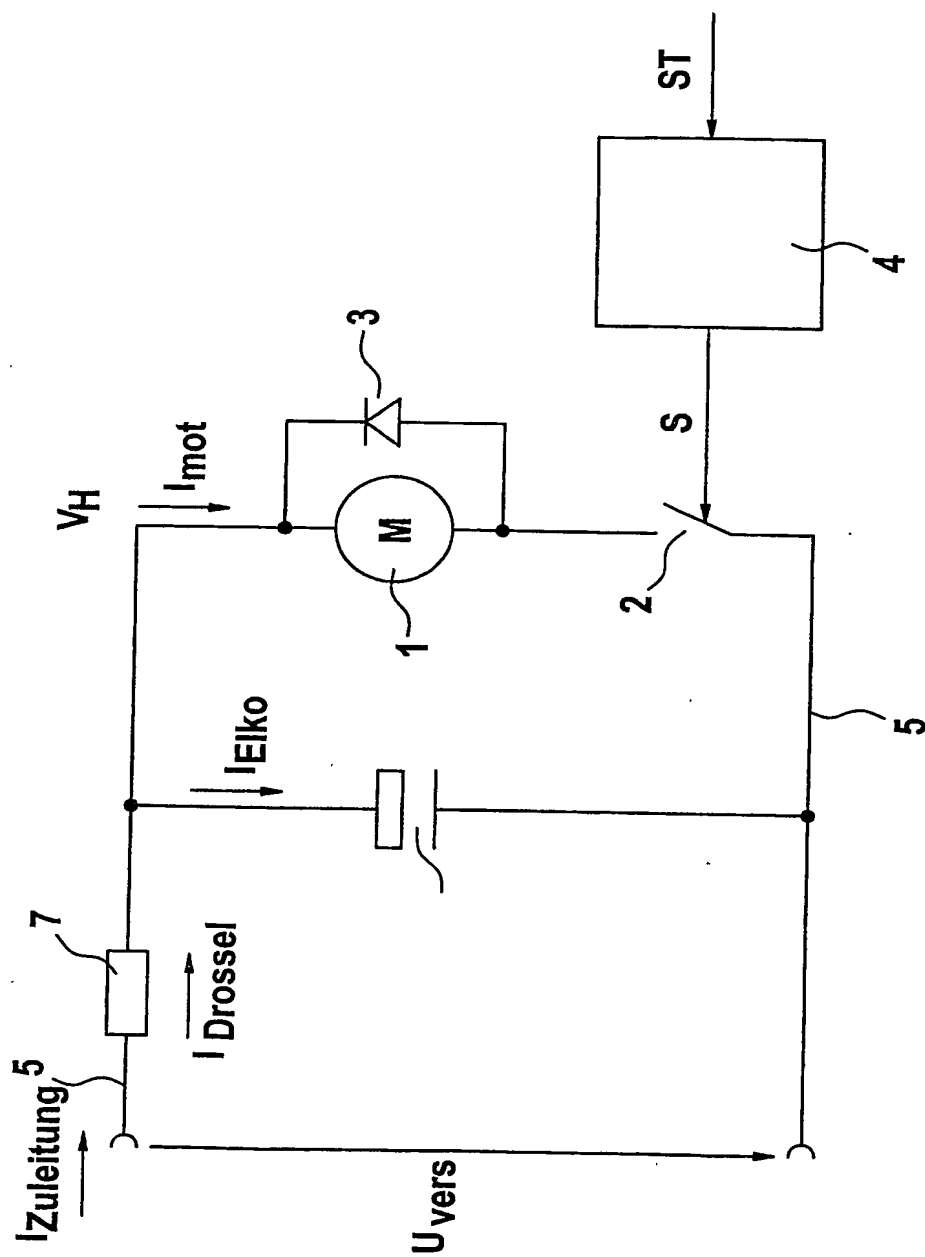


Fig. 1

Fig. 2

